

不同蔬菜对镉的吸收累积及亚细胞分布

王 芳, 杨 勇, 张 燕, 李花粉

(中国农业大学资源与环境学院, 教育部植物-土壤相互作用重点实验室, 农业部植物营养与养分循环重点实验室, 北京 100094)

摘 要:采用营养液培养, 基于叶绿体分离方法, 研究了不同种类蔬菜对镉吸收、运输和亚细胞的分布规律。结果表明, 蔬菜在不同浓度镉的营养液中培养 1 周后, 蔬菜生物量没有产生显著差异, 而不同种类的蔬菜生物量差异较大。镉在蔬菜叶片中大部分存在于细胞壁中, 占总量的 62%~85%, 少量存在于原生质(不含叶绿体)和叶绿体中; 随着营养液中镉浓度的增加, 各组中镉的含量明显增加, 但分配比例变化不大。各种蔬菜根中镉的含量高于地上部镉含量; 随着镉浓度的增加, 根中镉分配比例从 44%~59% 降低至 27%~38%; 不同蔬菜根部对镉的吸收能力及镉向地上部转移的能力有显著性差异。

关键词:镉; 蔬菜; 细胞壁; 叶绿体; 细胞分布

中图分类号: X503.231 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-2043(2009)01-0044-05

Accumulation and Subcellular Distribution of Cadmium in Vegetables Grown in Hydroponic Solution

WANG Fang, YANG Yong, ZHANG Yan, LI Hua-fen

(The Key Laboratory of Plant Nutrition and Nutrient Cycling, MOA, Key Laboratory of Plant-Soil Interactions, MOE, College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100094, China)

Abstract: Knowledge of intracellular distribution pattern of heavy metals could help to understand their effects on cellular activities. Cadmium(Cd) uptake and subcellular distribution in vegetables (*Brassica rapa* L. spp. Chinenesis, *Raphanus sativus* L. and *Daucus carota* L.) were studied in hydroponic solutions containing 1.0 or 5.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ Cd in a controlled condition. Roots and shoots were sampled after 7 days of exposure to the Cd solutions. The average dry matter values for roots and shots in the different treatments showed no significant difference. Cd addition did not significantly reduce the yield and growth of the tested vegetables and no Cd toxicity symptoms were observed. Generally root and shoot Cd concentrations were higher in plants grown in nutrient solution containing 5.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ than in plants grown with 1.0 $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ Cd. Cd was accumulated in leaves mainly in the cell wall fraction (62%~85%) and this accumulation was independent of Cd level in nutrient solution. Cd concentrations in fractions increased with the increasing level of Cd. Cd concentrations of the roots were much higher than that of the shoots, but the ratio of Cd in the roots decreased from 44%~59% to 27%~38% with the increasing Cd concentration. Significant differences were found in the Cd uptake of roots and transportation into shoots between vegetables.

Keywords: cadmium; vegetables; cell wall; chloroplast; subcellular distribution

不同种类的作物, 由于其结构特性及生理特性不同, 吸收重金属的生理生化机制各异, 其重金属元素的积累量有显著差异^[1-3]。并且植物不同部位吸收和积累的镉量也存在着差异, 一般是新陈代谢旺盛器官积

蓄量最大, 而营养贮存器官积蓄量少, 镉在植物各部分的分布基本上是: 根>叶>枝>花>果实>籽粒^[4]。

从细胞和亚细胞的水平上来看, 植物为了避免镉的毒害作用, 从而表现出选择性分布。然而不同的研究发现, 镉在植物的亚细胞分布不尽相同, 有的研究结果表明大部分的镉累积在细胞壁中^[5], 而有的研究结果却发现镉主要分布在细胞质中^[6]。为了进一步了解植物对镉吸收和亚细胞的分布规律, 本研究选用不同的蔬菜种类, 探讨了不同镉处理下, 植物对镉的吸收以及分布运移的规律。

收稿日期: 2008-03-06

基金项目: 农业部 948 重大国际合作项目(2004-Z53)“养分资源综合管理”

作者简介: 王 芳(1979—), 女, 硕士, 主要从事重金属污染化学方面的研究。

通讯作者: 李花粉 E-mail: lihuafen@cau.edu.cn

1 材料与方法

1.1 植物培养

白菜(*Brassica rapa* L. spp. *Chinensis*, 品种为中白 50)、油菜(*Brassica rapa* L. spp. *Chinensis*, 品种为五月慢)、白萝卜(*Raphanus sativus* L., 品种为花叶大白萝卜)和胡萝卜(*Daucus carota* L., 品种为橘红 1 号)种子用 30% H_2O_2 消毒 30 min 后, 用去离子水洗净, 饱和 $CaSO_4$ 溶液浸泡过夜, 第 2 d, 洗净播种于石英砂中。待幼苗长出 2 片真叶时, 移栽至营养液中进行培养。营养液的组成为($mol \cdot L^{-1}$): $Ca(NO_3)_2$ 5.79×10^{-3} , KNO_3 8.02×10^{-3} , $NH_4H_2PO_4$ 1.35×10^{-3} , $MgSO_4$ 4.17×10^{-3} , $MnSO_4$ 8.90×10^{-6} , H_3BO_3 4.83×10^{-5} , $ZnSO_4$ 0.94×10^{-6} , $CuSO_4$ 0.20×10^{-6} , $(NH_4)_2MoO_4$ 0.015×10^{-6} , $Fe-EDTA$ 7.26×10^{-5} 。

植物生长在 25 °C/14 h 光照和 20 °C/10 h 的黑暗条件下, 相对湿度大约为 60%~70%, 光照强度为 $240 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 。试验容器为体积 3 L 的塑料盆, 每盆移栽 6 株幼苗, 营养液每 4 d 更换 1 次。

1.2 试验处理

植物在营养液中生长 4 周后, 分别进行加镉处理, 每个处理重复 3 次, 同时设置对照处理, 1 周后取样分析, 此间营养液更换周期同处理前。 $CdSO_4$ 的浓度水平为 $1.0 \mu mol \cdot L^{-1}$ 和 $5.0 \mu mol \cdot L^{-1}$ 。

1.3 样品的分析测定

植物在加镉的营养液中生长 1 周后, 分取叶片、茎(叶柄)和根, 用去离子水洗净。茎和根在 60 °C 的烘箱中烘干, 磨碎, 备用。定量称取待测样品, 用硝酸-高氯酸消化法消解^[7], 冷却后过滤, 用日立 Z—8000 型原

子吸收分光光度计测定样品中镉的含量。

鲜叶冷冻, 用于提取叶绿体。叶绿体分离方法参考 Ramos 等^[5]的分离提取方法, 并根据实际情况作了部分修订。将冷冻植物材料用 200 mL 缓冲液(包含 $50 mmol \cdot L^{-1}$ 磷酸盐缓冲溶液, pH7.4; $5 mmol \cdot L^{-1}$ $MgCl_2$; $300 mmol \cdot L^{-1}$ 蔗糖)研磨成匀浆, 匀浆液过 300 目尼龙网。滤液定容至 250 mL。取 50 mL 定容后的滤液离心($2\ 000 g \times 10 min$), 所得上清液为原生质(不包含叶绿体), 沉淀为叶绿体; 尼龙网过滤后的残渣为细胞壁及未破碎残渣。之后, 上清液、离心后的沉淀及过滤残渣分别消煮, 测定镉含量。以上步骤在低温下进行, 所用溶液和仪器事先在冰箱中冷冻备用。

1.4 数据的处理

试验结果为 3 次重复的平均值, 数据处理采用 SPSS 软件中的 Turkey 分析法进行方差分析。

2 结果分析

2.1 镉在不同蔬菜叶片细胞内的分布

在整个营养液培养过程中, 各种蔬菜均生长正常, 由于镉的处理浓度比较低, 镉离子的添加没有对蔬菜产生毒害作用(如植株枯萎、叶色不一致变化等)。不同浓度镉处理下, 同种蔬菜的叶、茎(叶柄)、根部的生物量并没有产生显著差异。另外, 经过相同时间的培养, 由于不同蔬菜生理结构上的差异, 叶、茎(叶柄)、根部的生物量表现出了显著的差异; 其中, 白萝卜地上部和胡萝卜根部的干重明显高于其他蔬菜。

蔬菜叶片各组分中镉的含量是指单位叶片重量中细胞组织 Cd 的量。随着营养液中镉浓度的增加,

表 1 蔬菜叶片细胞各组分中镉的含量($mg \cdot kg^{-1}$ 鲜重)及分配比例

Table 1 Cd concentrations and percentages in the subcellular fractions of vegetable leaves($mg \cdot kg^{-1}$, FW)

Cd 浓度/ $\mu mol \cdot L^{-1}$	蔬菜品种 Vegetable species	细胞壁 Cell wall	叶绿体 Chloroplast	原生质(不含叶绿体) Protoplast, excluding chloroplasts
1.0	油菜	0.81±0.22 a(81%)	0.13±0.05 a(12%)	0.08±0.04 b(7%)
	白菜	0.72±0.17 a(75%)	0.13±0.07 a(12%)	0.12±0.03 b(13%)
	胡萝卜	0.56±0.13 b(62%)	0.08±0.05 a(8%)	0.26±0.03 a(30%)
	白萝卜	0.63±0.22 a(74%)	0.08±0.04 a(9%)	0.14±0.04 b(17%)
5.0	油菜	1.86±0.55 a(72%)	0.38±0.02 a(16%)	0.30±0.06 a(12%)
	白菜	1.41±0.36 a(72%)	0.31±0.11 a(16%)	0.23±0.08 a(12%)
	胡萝卜	1.49±0.18 a(72%)	0.22±0.05 a(10%)	0.43±0.30 a(18%)
	白萝卜	1.54±0.12 a(77%)	0.22±0.08 a(10%)	0.27±0.07 a(13%)

注: 表中数据为均值±标准差, 括号中的数据为分配比例; 相同镉处理浓度下, 同一列中相同字母代表没有显著差异($P < 0.05$)。

Note: Data are shown as mean ± SD of three replicates, percentages in brackets. Different letters in the same column indicate significant differences between vegetables for the each treatment at $P < 0.05$.

蔬菜叶片各组分中镉的含量均显著增加,但是,镉在叶片细胞各组分中的分配比例没有明显差异(表 1)。镉在细胞中的分配比例均以细胞壁最高,占总量的 62%~81%;在胡萝卜和白萝卜叶片细胞中,原生质中镉的分配比例高于叶绿体,占总量的 13%~30%,叶绿体中占 8%~10%;油菜和白菜叶片细胞中,原生质和叶绿体中镉的分配比例比较接近,分别占 7%~13%和 12%~16%。其中胡萝卜细胞壁中的镉占 62%,而原生质中的分布量高达 30%。

2.2 不同蔬菜中镉的累积

营养液中镉浓度的增加明显提高了蔬菜叶片和茎中镉的含量,但是根中镉的含量增加幅度不大,各蔬菜地上部和根部干物质中镉含量有明显差异(表 2)。其中油菜、白菜及白萝卜叶片中的镉含量相对较高,在镉浓度为 $1 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,与胡萝卜相差 2 倍;油菜和白菜茎中的镉含量相对较高;虽然,白萝卜叶片中镉的含量高于胡萝卜,但是根中镉的含量却是胡萝卜比较高。总体来说蔬菜各器官内镉含量的高低顺序为:根>茎(叶柄)>叶。蔬菜吸收的镉大部分滞留在根部,蔬菜根部的镉含量远高于地上部含量。

2.3 镉在不同蔬菜中的分布

随着营养液中镉浓度的增加蔬菜地上部吸镉量明显增加,但是根中镉的总量增加不是很明显(图 1)。油菜和白菜地上部和根中累积镉的总量差异不大;虽然白萝卜和胡萝卜根中累积镉的总量差异不大,但是,白萝卜地上部累积镉的量明显高于胡萝卜。当镉处理浓度为 $1 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,白萝卜叶片中吸镉量为 $68 \mu\text{g}$;当镉处理浓度为 $5 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,叶片中的吸镉量达到 $146 \mu\text{g}$ 。

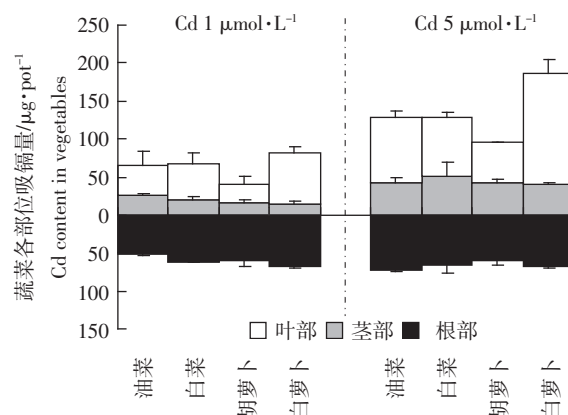


图 1 不同蔬菜吸收镉的差异

Figure 1 Cd amount accumulated in vegetables

不同蔬菜体内,不同部分镉的分布比例有较大的差异(表 3)。随着镉处理浓度的增加,根中镉的分配比例降低,地上部的分配比例在增加。在镉的处理浓度为 $1 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,近 50%的镉累积在根部,但是 59%的镉累积在胡萝卜根部,向地上部转移的比例相对较低。地上部叶片中的分配比例相对较高,茎中的分配比例最低。

3 小结与讨论

从叶绿体分离试验的结果来看,进入蔬菜叶片的镉大部分分布于细胞壁中,少量进入细胞内部,因此,地上部大部分的镉和细胞壁结合处于不活跃的形态。在豌豆和玉米中也发现了同样的亚细胞分布模式^[8]。Ramos 等^[5]的试验结果同样表明,大约 63%的镉累积在莴苣细胞壁中,23%分布于原生质中,少量存在于叶绿体中。植物的细胞壁表面带有较多的 COO^- ,可能

表 2 蔬菜不同部位镉的含量($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 干重)

Table 2 Cd concentrations in different part of vegetables($\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ DW)

Cd 浓度/ $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ Cd concentration	蔬菜品种 Vegetable	叶片中 Cd 含量 Cd in leaves	茎中 Cd 含量 Cd in stems	根中 Cd 含量 Cd in roots
1.0	油菜	19.03±5.84 a	26.34±1.00 a	83.20±17.31 ab
	白菜	19.91±6.06 a	22.19±3.91 a	106.39±7.19 a
	胡萝卜	10.96±3.47 b	17.78±4.34 ab	103.02±10.72 a
	白萝卜	20.18±6.04 a	13.00±5.47 b	72.30±15.03 b
5.0	油菜	46.57±9.26 a	45.07±1.64 a	117.21±20.77 a
	白菜	38.35±9.54 a	53.34±17.50 a	133.74±12.66 a
	胡萝卜	22.57±3.50 b	43.54±3.47 a	116.52±19.01 a
	白萝卜	39.64±6.02 a	40.07±2.44 a	71.44±5.97 b

注:表中数据为均值±标准差;相同镉处理浓度下,同一列中相同字母代表没有显著差异($P<0.05$)。

Note: Data are shown as mean±SD of three replicates. Different letters in the same column indicate significant differences between vegetables for the each treatment at $P<0.05$.

表 3 Cd 在蔬菜不同部分的分配比例(%)

Table 3 Cd distribution in different parts of vegetables as proportion of the total amount(%)

Cd 浓度/ $\mu\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ Cd concentration	蔬菜品种 Vegetable species	叶片中分布比例 Leaf proportion	茎中分布比例 Stem proportion	根中分布比例 Root proportion
1.0	油菜	33.7	22.4	43.9
	白菜	36.5	16.3	47.2
	胡萝卜	24.7	16.7	58.6
	白萝卜	45.7	8.8	45.5
5.0	油菜	42.5	21.6	35.9
	白菜	39.7	26.8	33.5
	胡萝卜	34.7	27.1	38.2
	白萝卜	57.1	16.0	26.9

会与重金属阳离子结合使其处在膜外;其次,细胞壁中较多的磷可能会与镉形成不溶性的磷酸盐^[9]。在 Cd^{2+} 处理下细胞壁对重金属离子的络合、螯合起主要作用^[10],对于细胞最重要的光合作用和呼吸作用场所——叶绿体和线粒体,结合的镉较少,这有利于细胞正常发挥重要的生理机能,防止叶绿体和线粒体中的重要离子(如 Mg^{2+} 等)被 Cd^{2+} 置换后影响光合作用和呼吸作用的效率。

但是,也有一些试验结果表明菜豆中大部分的镉(70%)存在于细胞质中,只有少部分结合在细胞壁或细胞器组分^[6]。小白菜根系、叶片和叶柄细胞中可溶性成分 Cd 含量均较高,表明细胞内 Cd 主要积累于液泡中^[11]。Zenk^[12]和 Hall^[13]认为,Cd 在植物细胞内除细胞壁吸附外,大部分的 Cd 积累于液泡,使植物细胞免除毒害。导致这些不同结果的原因,可能是由于试验用的蔬菜种类不同,或者试验过程中使用的缓冲液和试验条件(重金属的添加量、植物培养的时间等)不同所造成的。

另外,从本试验的结果可以看出,不同种类蔬菜的镉含量和吸收镉总量有明显差异。胡萝卜叶片中的镉含量明显低于其他 3 种蔬菜,但是在根中,白萝卜的镉含量最低(表 2)。不同蔬菜根部吸收镉的能力及镉从根部向地上部的转移能力也有差异,其中白萝卜向地上部转移镉的比例比较高(表 3)。

叶菜类蔬菜中重金属的含量一般较高,而根菜类中相对较低^[3,14-18]。造成不同种类蔬菜吸收差异的原因:一方面,根部特性是决定植株吸收镉的关键所在,根部特性主要决定于品种特性;另一方面,由于蔬菜本身生理结构的差异,植物吸收的重金属从根向地上部的转移能力不同。

参考文献:

- [1] Alexander P D, Alloway B J, Dourado A M. Genotypic variations in the accumulation of Cd, Cu, Pb and Zn exhibited by six commonly grown vegetables[J]. *Environmental Pollution*, 2006, 144(3): 736-745.
- [2] Alloway B J, Jackson A P, Morgan H. The accumulation of cadmium by vegetables grown on soils contaminated from a variety of sources[J]. *Science of the Total Environment*, 1990, 91: 223-236.
- [3] Kim S J, Chang A C, Page A L, et al. Relative concentrations of cadmium and zinc in tissue of selected food plants grown on sludge-treated soils[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1988, 17: 568-573.
- [4] 廖自基. 微量元素的环境化学及生物效应[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1993. 299-302.
LIAO Zi-ji. Environmental chemistry and bioeffect of trace elements[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1993. 299-302.
- [5] Ramos I, Esteban E, Lucena J J, et al. Cadmium uptake and subcellular distribution in plants of *Lactuca* sp. Cd-Mn interaction[J]. *Plant Science*, 2002, 162(5): 761-767.
- [6] Weigel H J, Jäger H J. Subcellular distribution and chemical from in bean plants[J]. *Plant Physiology*, 1980, 65(3): 480-482.
- [7] 环境监测分析方法编写组. 环境监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1986.
Editorial group. Analytical methods of environmental monitoring[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1986.
- [8] Lozano E, Hernández L E, Bonay P, et al. Distribution of cadmium in shoot and root tissues of maize and pea plants: physiological disturbances[J]. *Journal of Experimental Botany*, 1997, 48(1): 123-128.
- [9] Sela M, Tel-Or E, Fritz E. Localization and toxic effects of cadmium, copper and uranium in *Azolla*[J]. *Plant Physiology*, 1988, 88(1): 30-36.
- [10] 王宏铭, 王焕校, 文传浩, 等. 镉处理下不同小麦品种几种解毒机制探讨[J]. 环境科学学报, 2002, 22(4): 523-528.
WANG Hong-bin, WANG Huan-xiao, WEN Chuan-hao, et al. Some detoxication mechanisms of different wheat varieties under cadmium treatment[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2002, 22(4): 523-528.
- [11] 李德明, 朱祝军. 镉在不同品种小白菜中的亚细胞分布[J]. 科技通

- 报, 2004, 20(4):278-282.
- LI De-ming, ZHU Zhu-jun. Cadmium subcellular distribution in plants of *Brassica campestris* ssp. *chinensis* L[J]. *Bulletin of Science and Technology*, 2004, 20(4):278-282.
- [12] Zenk M H. Heavy metal detoxification in high plants—a review[J]. *Gene*, 1996, 179(1):21-30.
- [13] Hall J L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance[J]. *Journal of Experimental Botany*, 2002, 53(366):1-11.
- [14] 王丽凤, 白俊贵. 沈阳市蔬菜污染调查及防治途径研究[J]. 农业环境保护, 1994, 13(2):84-88.
- WANG Li-feng, BAI Jun-gui. The investigation of the pollutants in vegetables and the proposed control method in Shenyang city[J]. *Agro-Environmental Protection*, 1994, 13(2):84-88.
- [15] Jinadasa K B P N, Milham P J, Hawkins C A, et al. Heavy metals in the environment—survey of cadmium levels in vegetables and soils of Greater Sydney, Australia[J]. *Journal of Environmental Quality*, 1997, 26(4):924-933.
- [16] 陈玉成, 赵中金, 孙彭寿, 等. 重庆市土壤-蔬菜系统中重金属的分布特征及其化学调控研究[J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(1):44-47.
- CHEN Yu-cheng, ZHAO Zhong-jin, SUN Peng-shou, et al. Distribution and control of heavy metals by additives in soil-vegetable system in Chongqing [J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(1):44-47.
- [17] Wang G, Su M Y, Chen Y H, et al. Transfer characteristics of cadmium and lead from soil to the edible parts of six vegetable species in south-eastern China[J]. *Environmental Pollution*, 2006, 144:127-135.
- [18] Cobb G P, Sands K, Waters M, et al. Accumulation of heavy metals by vegetables grown in mine wastes[J]. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2000, 19:600-607.

《农业环境科学学报》2008 年审稿专家名录

(按姓氏拼音排序)

包木太	曹会聪	曹 慧	曹 军	曹文志	曹云者	柴同杰	常志州	陈宏伟	陈怀满	陈家长	陈 静
陈能场	陈 威	陈晓英	成杰民	仇荣亮	褚海燕	崔保山	崔德杰	崔理华	崔岩山	戴九兰	党 志
董元华	窦 森	杜新贞	段学军	段毅豪	范丙全	封 克	冯启言	符建荣	高 定	葛 滢	弓爱君
龚道新	郭红岩	韩宝平	韩鲁佳	韩照祥	何 江	何品晶	侯 明	侯彦林	胡红青	胡克林	花日茂
华 珞	黄 璜	黄 丽	黄 耀	黄 艺	黄益宗	黄占斌	籍国东	季 民	季 颖	江荣凤	蒋静艳
金朝辉	孔志明	匡少平	黎华寿	李本纲	李发生	李发生	李锋民	李广科	李国学	李恒鹏	李花粉
李明顺	李培军	李强坤	李艳霞	李永华	李 元	李卓佳	梁金生	廖柏寒	廖晓勇	廖新倮	廖宗文
林匡飞	刘 波	刘春光	刘 菲	刘广立	刘国光	刘景春	刘景双	刘静玲	刘可星	刘 鹏	刘瑞民
刘 宛	刘文新	刘 翔	刘学军	刘 鹰	刘云国	龙 健	龙新究	卢少勇	卢新卫	吕家琬	吕晓男
李兆擎	罗启仕	罗 涛	马宏瑞	马隆龙	孟昭福	莫测辉	欧晓明	潘灿平	彭绪亚	乔有明	秦伯强
曲 东	任明忠	邵晓阳	沈 标	沈根祥	沈仁芳	沈新强	沈振国	盛下放	施庆珊	施卫民	石利利
宋永华	苏以荣	孙 波	孙红文	孙志梅	谭文峰	汤 利	唐世荣	唐文浩	唐欣昀	唐廷林	田光明
童裳伦	涂 从	涂仕华	王朝辉	王德汉	王 果	王慧忠	王火焰	王 军	王凯荣	王里奥	王 沫
王慎强	王小治	王晓燕	王 新	王学东	王学锋	王学军	王祖伟	韦革宏	魏树和	吴创之	吴丰昌
吴景贵	吴良欢	吴启堂	吴群河	吴淑杭	吴 伟	吴耀国	吴永贵	吴中红	肖 琳	肖 昕	肖羽堂
谢国生	谢正苗	谢忠雷	熊 丽	徐敦明	徐明岗	徐仁扣	徐星凯	许育新	严重玲	阎百兴	颜晓元
晏维金	杨俊诚	杨林章	杨柳燕	杨仁斌	杨 劭	杨正礼	仪慧兰	易 秀	阴秀丽	尹大强	尹平河
于红霞	虞云龙	袁 星	袁旭音	张晋京	张克强	张盼月	张仁陟	张世熔	张树清	张素坤	张 卫
张卫建	张兴昌	张迎梅	张余良	张玉华	张增强	章明奎	赵炳梓	赵同科	赵晓松	郑 平	郑永权
郑有飞	郑袁明	郑 正	周东美	周立祥	周明华	周启星	周 青	周学永	朱 波	朱 琳	朱鲁生
朱茂旭	朱义年	周运超	朱志良	庄惠生	宗良纲	邹建文					

正是因为有以上专家认真及时的审稿,才使刊物的稿件质量得到有力的保证,使创新性的科研成果得以即时发表,使科技新人脱颖而出。在此,本刊编辑部对各位专家的辛勤工作表示诚挚的感谢。为不断壮大审稿专家队伍,适应日益增多的稿源需求,我们衷心地希望广大作者和读者踊跃推荐审稿专家候选人,以促进刊物的不断发展和创新。

(本刊编辑部)